



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 293 302 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

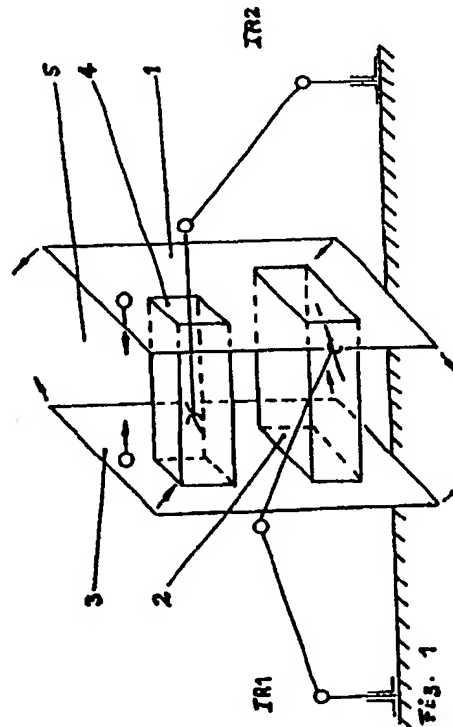
5(51) B 25 J 19/06
B 66 C 15/04

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD B 25 J / 339 443 4	(22)	05.04.90	(44)	29.08.91
(71)	siehe (73)				
(72)	Reichel, Uwe, Dipl.-Ing.; Zander, Hans Joachim, Prof. Dr. sc. techn., DE				
(73)	Technische Universität Dresden, Mommsenstraße 13, O - 8027 Dresden, DE				
(54)	Verfahren zur Kollisionsgefahrerkennung bei Handhabungseinrichtungen mit gemeinsamem Arbeitsraum				

(55) geometrischer Körper; Handhabungseinrichtung; hierarchisches System; Industrieroboter; Kollision; Kollisionsschutz; Koordinaten; Mehrrechnersystem; prismatischer Körper; Zylinder
(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kollisionsgefahrerkennung bei Handhabungseinrichtungen mit gemeinsamem Arbeitsraum, das mit Vorteil für den Einsatz von $n \geq 2$ Industrierobotern mit einem gemeinsamem Arbeitsraum aber mit voneinander unabhängigen Handlungen oder auch bei kooperativen Handlungen zum Kollisionsschutz geeignet ist. Die Anwendung des Verfahrens ist auch in modifizierter Form z. B. für Bagger, Krane und Fördereinrichtungen unter äquivalenten Bedingungen möglich. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß für die Handhabungseinrichtungen paarweise rekursiv kollisionsgefährdete Teile bestimmt werden, die durch einfache geometrische Modelle, z. B. prismatische Körper oder Zylinder, umschrieben werden. Die Parameter der Umschreibungen, z. B. die Kantenlängen oder Durchmesser, hängen von der Stellung der Handhabungseinrichtungen ab. Die rechnerische Auswertung geschieht paarweise, indem Relationen zwischen den Koordinaten der Begrenzungen dieser beiden Umschreibungen hergestellt werden. Dabei wird nach einer Tangierung oder Überschneidung der Modelle gesucht. Die Erfindung ist an Fig. 1 ersichtlich. Figur



Patentansprüche:

1. Verfahren zur Kollisionsgefahrerkennung bei Handhabungseinrichtungen mit gemeinsamem Arbeitsraum, dadurch gekennzeichnet, daß für die Handhabungseinrichtungen paarweise rekursiv kollisionsgefährdete Teile bestimmt werden, deren Umschreibung durch einfache geometrische Modelle, z. B. prismatische Körper oder Zylinder, erfolgt, die Parameter der Umschreibungen, z. B. Kantenlängen oder Durchmesser, von der Stellung der Handhabungseinrichtungen abhängen, wobei die sich für den nächsten Rekursionsschritt ergebenden kollisionsgefährdeten Teile der Handhabungseinrichtungen, die wiederum zu umschreiben sind, innerhalb des Schnittgebildes dieser Umschreibungen befinden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß durch ein Vorhaltemaß einer Kollisionsgefahr vorgebeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bedingung „Keine Kollisionsgefahr“ vorliegt, wenn die letzten Umschreibungen der kollisionsgefährdeten Teile der zu überwachenden Handhabungseinrichtungen keine gemeinsamen Koordinaten besitzen.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bedingung „Kollisionsgefahr“ dann vorliegt, wenn nach dem Abbruch der rekursiven Berechnungen auf Grund einer bestimmten Schrittzahl oder der Größe eines geometrischen Modells die letzten Umschreibungen der kollisionsgefährdeten Teile der zu überwachenden Handhabungseinrichtungen gemeinsame Koordinaten aufweisen.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die rekursive Bestimmung kollisionsgefährdeter Teile mit der Erfüllung eines bestimmten Kriteriums, z. B. einer bestimmten Schrittzahl, abgebrochen wird und anschließend ein Kollisionsgefahrtest für die zuletzt bestimmten kollisionsgefährdeten Teile der Handhabungseinrichtungen nach einem bekannten Verfahren, z. B. einem Abstandstest, erfolgt.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß für die Durchführung des Verfahrens ein hierarchisches Rechnersystem bestehend aus einer Vergleichseinheit und n Transformationsrechnern eingesetzt wird.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kollisionsgefahrerkennung bei Handhabungseinrichtungen mit gemeinsamem Arbeitsraum, das mit Vorteil für den Einsatz von $n \geq 2$ Industrierobotern mit einem gemeinsamen Arbeitsraum aber mit voneinander unabhängigen Handlungen oder auch bei kooperativen Handlungen zum Kollisionsschutz geeignet ist. Die Anwendung des Verfahrens ist auch in modifizierter Form z. B. für Bagger, Krane und Fördereinrichtungen unter äquivalenten Bedingungen möglich.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

In der Robotertechnik und in der Bauindustrie sind verschiedene Verfahren zum Kollisionsschutz bekannt. Eine Einrichtung zur Vermeidung von Kollisionen zwischen n Robotern ist in der Patentschrift DD-WP 224804 beschrieben. Mit Hilfe von Start-/Stop-Signalen wird gewährleistet, daß sich immer nur ein Roboter im gemeinsamen Arbeitsraum aufhält. Dieser gemeinsame Arbeitsraum kann auch in Teilarbeitsräume zerlegt werden. Ein Nachteil des Verfahrens besteht darin, daß lange Wartezeiten auftreten können, wenn keine Unterteilung des gemeinsamen Arbeitsraumes vorgenommen wird. Mit der Festlegung von Teilarbeitsräumen erhöht sich der Hardware- und der Auswerteaufwand. In der Patentschrift DD-WP 226270 wird ein Verfahren zur Kollisionsgefahrerkennung bei Kranen vorgestellt. Es beruht auf der Festlegung von Grenzwerten. Sie werden durch indirektes „Teach-In“ gewonnen und einem Rechner übergeben, der sie ständig mit den aktuellen Koordinaten vergleicht und bei Kollisionsgefahr Alarm auslöst und die Kranbewegung stoppt. Dieses Verfahren versagt bei komplizierten Anordnungen und bei einer hohen Anzahl von Freiheitsgraden. Es wurde nur für einfache Anwendungsfälle konzipiert. Andere Verfahren und Einrichtungen, die ebenfalls Zusammenstöße zwischen Kranen vermeiden, beruhen auf den Einsatz von Sensoren. Sie werden in den Patentschriften DD-WP 144161, DD-WP 0151731, DE-PS 2750908 und DE-OS 3241900 beschrieben. Dabei erfolgt eine Bestimmung des Abstandes der Krane mit Hilfe von Sendern, Reflektoren und Empfängern. Bei Unterschreitung eines Mindestabstandes wird Alarm ausgelöst und die Leistung der Antriebe abgeschaltet. Der Nachteil dieser Verfahren und Einrichtungen besteht darin, daß schienengebundene Handhabungseinrichtungen vorausgesetzt werden und nur ein Freiheitsgrad in die Auswertung einbezogen wird. Zwei Verfahren, die in einer Dissertation (Hoyer, H.: Verfahren zur automatischen Kollisionsvermeidung von Robotern im koordinierten Betrieb. – Dissertation A, FernUniversität Hagen, 1984) vorgestellt werden, basieren auf der Berechnung von Kollisionsschutzparametern, die von der Lage der Roboter abhängen. Liegen diese Kenngrößen innerhalb bestimmter Bereiche,

dann werden Maßnahmen zum Kollisionsschutz eingeleitet. Die Verfahren sind stark an die konkrete Roboterstruktur gebunden. In die Auswertung werden nur die Greiferspitzen einbezogen.
 Eine Tagungsveröffentlichung (Yuh, J.: On-line Adaptive Collision Avoidance Motion Control Strategy For Two Planar Robots. - Proceeding of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. - Alexandria, 20-23 October 1987. - pp.21-25) enthält einen Beitrag zum On-line-Kollisionsschutz, verbunden mit einer Steuerstrategie für zwei planare Roboter. Die Greiferspitze des höherpriorisierten Roboters bewegt sich entlang einer Geraden vom Start- zum Zielpunkt. Parallel zu dieser Verbindungsstrecke wird unter Beachtung eines Sicherheitsabstandes eine Gerade festgelegt. Dabei entstehen zwei Gebiete. Bewegt sich der niederpriorisierte Roboter in das Kollisionsgebiet, wird ein Soll-Wert entlang der Begrenzungsgeraden festgelegt. Dieses Verfahren setzt lineare Bewegungen der Greiferspitzen der Roboter voraus und wurde nur für planare Roboter entwickelt.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, ein Verfahren vorzustellen, daß eine Kollisionsgefahr zwischen Handhabungseinrichtungen, die einen gemeinsamen Arbeitsraum besitzen, erkennt und eine Kollision ausschließt.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Kollisionsgefahrerkennung für Handhabungseinrichtungen mit gemeinsamem Arbeitsraum anzugeben, bei dem zum Umschreiben kollisionsgefährdeter Teile der Handhabungseinrichtungen einfache geometrische Modelle verwendet werden. Dabei soll eine paarweise Auswertung zwischen zwei Handhabungseinrichtungen erfolgen. Als Mittel werden Handhabungseinrichtungen mit Meßsystemen und Rechnersysteme als Auswerteeinheiten eingesetzt. Eine Kollision der Handhabungseinrichtungen soll ausgeschlossen werden. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß für die Handhabungseinrichtungen paarweise rekursiv kollisionsgefährdete Teile bestimmt werden, die durch einfache geometrische Modelle, z. B. prismatische Körper oder Zylinder, umschrieben werden. Die Parameter der Umschreibungen, z. B. die Kantenlängen oder Durchmesser, hängen von der Stellung der Handhabungseinrichtungen ab. Die rechnerische Auswertung geschieht paarweise, indem Relationen zwischen den Koordinaten der Begrenzungen dieser beiden Umschreibungen hergestellt werden. Dabei wird nach einer Tangierung oder Überschneidung der Modelle gesucht. Diese Verfahrensweise entspricht der Durchschnittsbildung von zwei Mengen M_1 , M_2 . Damit werden die kollisionsgefährdeten Teile für den nächsten Rekursionsschritt bestimmt. Sie ergeben sich aus den Teilen der Handhabungseinrichtungen, die sich innerhalb des Schnittbildes befinden. Sie werden erneut umschrieben. Durch ein Vorhaltemaß wird einer Tangierung vorgebeugt. Es berücksichtigt das Bremsverhalten und wird aus den Meßgrößen für die zu überwachenden Handhabungseinrichtungen bestimmt.
 Die Bedingung „keine Kollisionsgefahr“ ist erfüllt, wenn die letzten Umschreibungen der zu überwachenden Handhabungseinrichtungen keine gemeinsamen Koordinaten besitzen. Die rekursive Bestimmung kollisionsgefährdeter Teile wird abgebrochen, wenn ein bestimmtes Kriterium erfüllt wird, z. B. eine maximale Schrittzahl erreicht ist oder die geometrischen Modelle eine bestimmte Größe unterschreiten. Die Bedingung „Kollisionsgefahr“ ist erfüllt, wenn die letzten Umschreibungen der kollisionsgefährdeten Teile der zu überwachenden Handhabungseinrichtungen gemeinsame Koordinaten aufweisen. In diesem Fall sind Maßnahmen zur Kollisionsverhütung einzuleiten. Andererseits kann nach dem Abbruch der Rekursion auch ein bekanntes Verfahren zum Kollisionsgefahrtest für die zuletzt bestimmten kollisionsgefährdeten Teile der Handhabungseinrichtungen, z. B. eine Abstandsbestimmung, verwendet werden.
 Die Ausführung des Verfahrens erfolgt unter der Nutzung eines hierarchischen Rechnersystems bestehend aus einer Rechereinheit und n Transformationsrechnern. Ein Sicherheitsabstand kann eingeführt werden durch eine virtuelle Vergrößerung der Handhabungseinrichtungen oder der Umschreibungen. Sollten bestimmte technologische Bedingungen die Abschaltung der Auswertung für zwei Handhabungseinrichtungen erforderlich machen, so ist eine paarweise Deaktivierung notwendig.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachfolgend mit einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In den Zeichnungen zeigen

Fig. 1: das Prinzip der Kollisionsverhütung mit den Umschreibungen durch geometrische Modelle für zwei Industrieroboter mit gemeinsamem Arbeitsraum

Fig. 2: ein Rechnersystem zur Koordinatenberechnung und Bestimmung der Umschreibungen der geometrischen Modelle.

Die Auswertung der Kollisionsverhütung erfolgt in zwei Schritten. Zuerst bestimmen die Transformationsrechner (Fig. 2) aus den aktuellen und den vorherigen Positionswerten die Geschwindigkeiten der Roboterglieder. Sie dienen der Bestimmung der Vorhaltemaße. Daraufhin werden die geometrischen Modelle der Industrieroboter mit Hilfe der Transformationsrechner unter Nutzung der aktuellen Koordinaten und der berechneten Vorhaltemaße in ein ortsfestes Vergleichskoordinatensystem transformiert. Dem schließt sich die Bestimmung der 1. Umschreibungen (1), (3) für die Industrieroboter an. Dazu werden zwei Ebenen berechnet, die jeweils zwei Gebiete festlegen. Eines der beiden Gebiete enthält den zugehörigen Industrieroboter vollständig. Die Ebenen stehen senkrecht auf der Verbindungsstrecke der Roboterfußpunkte und schneiden sie. Sie haben keine gemeinsamen Punkte mit dem entsprechenden Roboter und nehmen zu ihm einen bestimmten Sicherheitsabstand ein. Unter bestimmten Bedingungen tritt eine Überlappung der 1. Umschreibungen (5) auf. Ist das nicht der Fall, beginnt die Auswertung von vorn. Der Überlappungstest erfolgt in der Vergleichseinheit (Fig. 2), der die berechneten Parameter von den

Transformationsrechnern erhält und sie für die Berechnung der 2. Umschreibungen (2), (4) an den jeweils anderen Transformationsrechner übermittelt. Im zweiten Schritt werden die Teile der Industrieroboter, die sich innerhalb der Überlappung (5) befinden, mit Hilfe von Quadern unter Beachtung eines Sicherheitsabstandes umschrieben (2), (4). Es erfolgt wiederum eine Übergabe der berechneten Kenngrößen an die Vergleichseinheit. Sie testet, ob sich die zwei Quader schneiden. Wenn dieser Fall eintritt, werden Maßnahmen zur Kollisionsvermeidung eingeleitet. Die Erzeugung der entsprechenden Signale erfolgt in der Vergleichseinheit. Über die Transformationsrechner werden sie an die Industrierobotersteuerungen (Fig. 2) übermittelt. Besteht keine Kollisionsgefahr, beginnt die Auswertung von vorn.

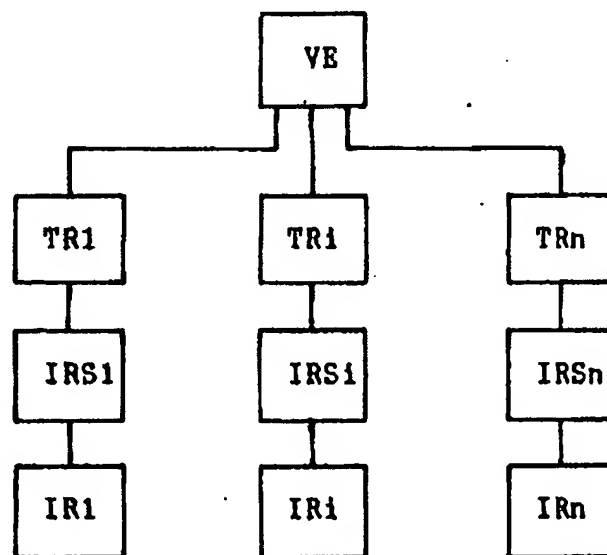
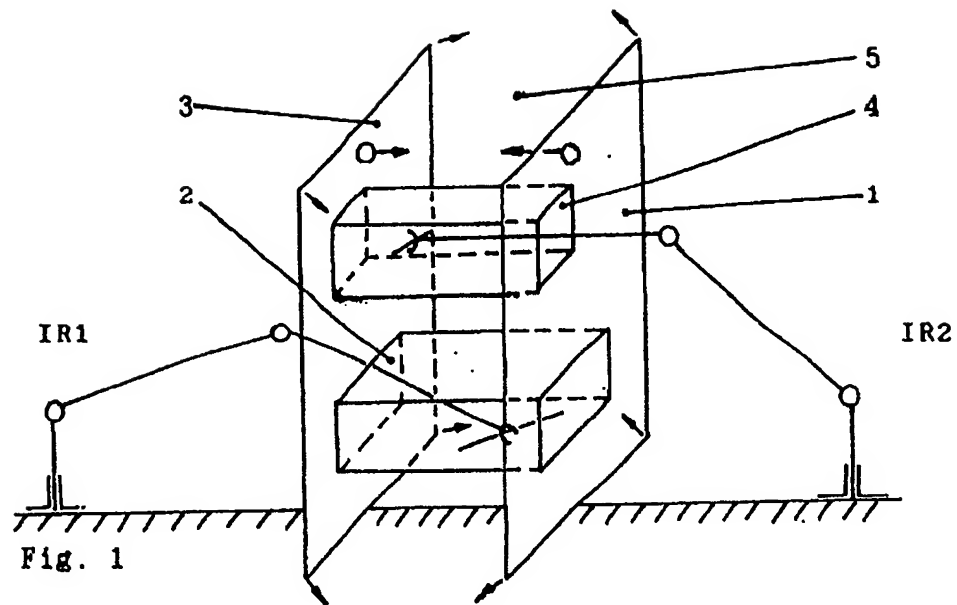


Fig. 2